УДК 614.8

Ю.А.АБРАМОВ, д-р техн. наук, В.П.САДКОВОЙ
Университет гражданской защиты Украины, г.Харьков

МОДЕЛИ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА КАК ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Применительно к пожару, который рассматривается как объект кибернетической системы, получены его динамические характеристики.

В современных условиях разработка оптимальных противопожарных мероприятий невозможна без научно обоснованных прогнозных оценок опасных факторов пожара. Современные методы прогнозирования таких факторов основываются на использовании математических моделей, описывающих процессы во время пожара.

Весь класс математических моделей применительно к описанию пожаров в помещениях можно разделить на интегральные, зонные и полевые (дифференциальные) [1]. Модели отличаются друг от друга количеством информации о состоянии газовой среды в помещении и взаимодействующих с ней строительных конструкций. Интегральная модель пожара представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений, а искомыми функциями являются усредненные по объему помещения параметры, определяющие состояние среды. Независимой переменной является время. Модели такого типа целесообразно использовать для описания процессов, имеющих место на начальной стадии пожара [2], в частности, при решении задачи синтеза систем пожарной сигнализации [3].

Следует заметить, что описание начальной стадии пожара с помощью интегральных моделей получило наиболее широкое распространение [4, 5], однако дальнейшее совершенствование систем пожарной автоматики обуславливает необходимость создания математических моделей пожара в виде, которым оперирует теория динамических систем. К таким математическим моделям относятся передаточная функция, а также временные и частотные характеристики.

Целью работы является получение математических моделей, описывающих процессы при пожаре на его начальной стадии в терминах кибернетических систем.

На начальной стадии пожара в помещении, которое имеет малое значение проемности, имеет место такой режим газообмена, когда этот процесс осуществляется в одном направлении через все проемы. Поступление воздуха в помещение из окружающей среды на этой стадии развития пожара отсутствуют [1]. Кроме этих особенностей будем полагать, что в помещении среднее значение давления среды является практически постоянной величиной и равной величине давления наружного воздуха. Тогда можно положить:

$$\frac{dP}{dt} \cong 0; \ \rho T = \rho_0 T_0 , \quad (1)$$

где ρ_0, T_0 – плотность и температура среды перед началом пожара соответственно; P – усредненное по объему помещения давление; ρ, T – плотность и температура среды в рассматриваемый момент времени соответственно.

С учетом этих допущений уравнения пожара можно записать так:

$$V\frac{d\rho}{dt} = \Psi - G_г \ ; \quad (2)$$

$$\Psi Q_1 \varsigma - cTG_г - Q_2 = 0 \ , \quad (3)$$

где V – объем помещения; Ψ – массовая скорость выгорания; $G_г$ – расход газов, вытекающих из помещения через проемы; Q_1 – теплота сгорания; ς – коэффициент полноты сгорания; c – теплоемкость воздуха; Q_2 – тепловой поток в ограждении.

Введем в рассмотрение коэффициент теплопотерь

$$\varphi = \frac{1}{\tau_0}\int_0^{\tau_0} Q_2 Q_3^{-1} d\tau , \quad (4)$$

где τ_0 – время окончания начальной стадии пожара; $Q_3 = \Psi\varsigma Q_1$ – скорость тепловыделения.

Тогда (3) с учетом (4) трансформируется к виду:

$$\Psi\varsigma Q_1 (1-\varphi) - cTG_г = 0 , \quad (5)$$

откуда с учетом (1) следует выражение для $G_г$:

$$G_г = \frac{\Psi\varsigma Q_1 (1-\varphi)}{c\rho_0 T_0}\rho . \quad (6)$$

Объединяя (1), (2) и (6), получаем

$$-\frac{\rho_0 T_0 V}{T^2}\frac{dT}{dt} + \frac{\Psi\varsigma Q_1 (1-\varphi)}{cT} = \Psi . \quad (7)$$

Подвергнем это нелинейное уравнение процедуре линеаризации [6] относительно некоторого квазистационарного режима, который будем отражать знаком «с». После линеаризации получим:

$$\frac{\rho_0 T_0 V}{T_c^2}\cdot\frac{d\left(\Delta T(t)\right)}{dt}+\frac{\Psi_c \varsigma Q_1(1-\varphi)}{cT_c^2}\Delta T(t)=\left[\frac{\varsigma Q_1(1-\varphi)}{cT_c}-1\right]\Delta\Psi(t)\ , \tag{8}$$

где учтены соотношения

$$T(t)=T_c+\Delta T(t);\ \Psi(t)=\Psi_c+\Delta\Psi(t)\ , \tag{9}$$

причем $\Delta T(t) << T_c$ и $\Delta\Psi(t) << \Psi_c$.

Если предположить, что $\Delta\Psi(t)=A=\text{const}$, то решением уравнения (8) при нулевых начальных условиях будет

$$\Delta T(t)=\frac{T_c A}{\Psi_c}\left[1-\frac{cT_c}{\varsigma Q_1(1-\varphi)}\right]\cdot\left[1-\exp\left(-\frac{\Psi_c \varsigma Q_1(1-\varphi)}{\rho_0 T_0 cV}t\right)\right], \tag{10}$$

что по смыслу представляет собой переходную функцию пожара как динамического объекта на начальной стадии его развития [6].

Определим передаточную функцию пожара как динамического объекта. Для рассматриваемого случая передаточная функция определяется выражением [7]

$$w(p)=A^{-1}pL\left(\Delta T(t)\right), \tag{11}$$

где L – оператор интегрального преобразования Лапласа.

В соответствии с (10) и (11) получаем

$$W(p)=\frac{K}{\tau p+1}\ , \tag{12}$$

где K,τ – коэффициент передачи и постоянная времени соответственно, определяемые из следующих выражений

$$K=\frac{T_c}{\Psi_c}\left[1-\frac{cT_c}{\varsigma Q_1(1-\varphi)}\right];\ \tau=\frac{\rho_0 T_0 cV}{\Psi_c \varsigma Q(1-\varphi)}\ . \tag{13}$$

Из (13) следует, что постоянная времени τ является линейной функцией объема помещения V.

Использование передаточной функции (12) позволяет определить среднеобъемную температуру в помещении в зависимости от характера изменения массовой скорости выгорания.

Случай 1. $\Delta\Psi(t)=at$, где a – параметр.

Приращение среднеобъемной температуры $\Delta T(t)$ в помещении определяется следующим образом [8]

$$\Delta T(t)=L^{-1}\left(\frac{W(p)}{p^2}\right)=aK\left(\tau e^{-\frac{t}{\tau}}+t-\tau\right), \tag{14}$$

где L^{-1} – оператор обратного интегрального преобразования Лапласа.

Случай 2. $\Delta\Psi(t) = \frac{b}{2}t^2$, где b – параметр.

Приращение среднеобъемной температуры в помещении описывается выражением [8]

$$\Delta T(t) = L^{-1}\left(\frac{bW(p)}{p^3}\right) = bK\tau^2\left(\tau^2 + \tau t + 2t^2 - \tau^2 e^{-\frac{t}{\tau}}\right). \qquad (15)$$

Таким образом, применительно к начальной стадии развития пожара в помещении получены характеристики пожара как динамического объекта, к которым относятся переходная характеристика и передаточная функция. Использование передаточной функции, которая является динамической характеристикой пожара, позволяет по заданной модели массовой скорости выгорания горючего вещества определить изменение среднеобъемной температуры в помещении как функции времени.

1.Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. – М.: АГПС МВД России, 2000. – 118 с.

2.Шаровар Ф.И. Методы раннего обнаружения загораний. – М.: Стройиздат, 1988. – 336 с.

3.Шаровар Ф.И. Принципы построения устройств и систем автоматической пожарной сигнализации. – М.: Стройиздат, 1983. – 355 с.

4.Драйсдейд Д. Введение в динамику пожаров. – М.: Стройиздат, 1988. – 336 с.

5.Термодинамика пожаров в помещении / Под ред. Ю.А.Кошмарова. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.

6.Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики. – Харьков: ХИПБ, 1993. – 288 с.

7.Абрамов Ю.А., Садковой В.П. Математические модели гидромагистралей систем автоматического пожаротушения // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 72. – К.: Техніка, 2006. – С.336-343.

8.Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М. Наука, 1968. – 720 с.

Получено 19.03.2007

УДК 614.842

В.М.ЖАРТОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, Ю.В.ЦАПКО, канд. техн. наук,
С.В.ЖАРТОВСЬКИЙ
Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України
К.І.СОКОЛЕНКО, канд. техн. наук
Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки МНС України, м.Київ

ВІДПОВІДНІСТЬ СУЧАСНИХ ПРОСОЧУВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ БАГАТОФАКТОРНОМУ ОЦІНЮВАННЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ

Наводяться результати досліджень щодо багатофакторного оцінювання ефектив-